Synchronisme musical et musiques mixtes : du temps écrit au temps produit

Arshia Cont

Introduction

La capacité des musiciens de coordonner leurs actions et leur résultat sonore à partir d'une écriture musicale est fondamentale à l'interprétation musicale. Une réalisation musicale est le résultat de l'interaction d'un ou de plusieurs musiciens avec la partition. Cette capacité de synchronisation et de coordination en temps réel représente un défi majeur pour la recherche en cognition, qui vise à mieux comprendre l'articulation sensorimotrice. Cette recherche et ses résultats permettent la compréhension des schémas cognitifs des processus de synchronisation en général chez l'humain. De même, l'étude des processus de synchronisation et de coordination en temps réel pose des défis intéressants à l'intelligence artificielle et à l'informatique, qui se sont inspirées depuis des décennies des métaphores musicales pour en imiter les processus dans des systèmes en temps réel concrets comme dans des domaines dits critiques telle l'aéronautique, par exemple.

Dès l'arrivée des sons électroniques, et dans le contexte de la musique mixte, la question de synchronisme musical est sérieusement posée. Le genre mixte est défini par l'association en concert d'instruments acoustiques et d'une partie électroacoustique. Avec ce nouveau genre, la question du synchronisme musical devient à la fois un enjeu de la performance et de la composition. L'idée globale est de déléguer tant l'écriture que la performance musicale à un ordinateur, à l'image de l'activité humaine répartie entre compositeurs et interprètes. L'étude de ces processus de synchronisation et de coordination et l'idée de les déléguer à un ordinateur se rattachent

à plusieurs thèmes de recherche tels que le traitement du signal, l'apprentissage automatique, et la programmation de langages synchrones en temps réel à des fins musicales.

Dans cet article, nous allons étudier le synchronisme musical dans le contexte de la musique mixte et à travers une partition écrite. L'étude débute par un survol historique du sujet, tant du point de vue de la performance que de celui de la composition. Ce contexte historique mène à un contexte plus pointu de la question de synchronisme musical, présenté comme un champ de recherche, étudié longtemps selon le contexte de suivi de partition et de reconnaissance temps réel, et aujourd'hui détourné pour mieux répondre aux besoins compositionnels dans un contexte d'interaction en temps réel entre les musiciens et la machine.

Contexte scientifique

Le synchronisme musical est fondamental à la performance musicale, tant pour la musique écrite que pour la musique improvisée. Une étude scientifique du sujet permet de mieux comprendre les processus cognitifs sous-jacents pour la coordination sensorimotrice chez l'humain. La plupart des études cognitives sur le synchronisme musical se concentrent sur les sujets simples de synchronisation des mouvements avec des séquences musicales simplifiées afin de pouvoir modéliser les processus de coordination dans le cerveau. La majorité de ces études souligne l'importance de *l'attente musicale* comme un processus implicite de prédiction et d'anticipation chez l'humain, qui gouverne l'action lors d'une interprétation[1]. Malgré la simplicité du contexte expérimental, ces études ont beaucoup fait avancer notre compréhension du synchronisme musical et ont donné naissance aux nombreux modèles computationnels. L'étude des schémas de synchronisation avec des séquences complexes est un sujet qui mérite plus d'expérimentation et d'investigation. Cependant, les études préliminaires révèlent la nécessité d'avoir certains degrés de connaissance de l'action implicite chez un musicien pour pouvoir prédire leur propre forme temporelle ainsi que celle des autres musiciens sur scène. Pour un survol de la recherche sur le synchronisme musical du point de vue cognitif, les lecteurs peuvent se référer à Repp (2006).

1. Large et Jones, 1999.

Dans une autre sphère, celle des machines et des ordinateurs, la question de synchronisation devient primordiale pour des systèmes *critiques* et en *temps réel* comme les avions, les trains à grande vitesse et les réacteurs nucléaires. Un système critique est défini comme un système dans lequel les défaillances ont des conséquences graves. L'étude des paradigmes informatiques pour des systèmes critiques et en temps réel a suscité de la

recherche considérables en programmation informatique, avec des résultats particulièrement intéressants du côté des langages synchrones pour la modélisation des systèmes réactifs et en temps réel. Les langages synchrones sont des langages informatiques spécialisés conçus pour la programmation sûre de systèmes réactifs et en temps réel. Les systèmes réactifs sont des systèmes qui sont en interaction permanente avec leur environnement. Aux sollicitations de leur environnement, les systèmes réactifs répondent par des *réactions*. En retour, ces réactions peuvent modifier l'environnement. Les langages synchrones ont été créés spécialement pour répondre aux besoins de la programmation d'applications réactives. Dans les années 1980, des études indépendantes ont conduit à l'apparition de langages spécialisés comme *Esterel*, *Lustre* et *Signal*, ainsi qu'aux formalismes graphiques de programmation[2]. L'importance des interactions entre le programme et son environnement explique que ces langages ont été initialement conçus par des équipes mixtes comprenant des ingénieurs et des informaticiens. Depuis leur création, ces langages ont passé du statut de langages académiques à celui de langages d'applications industrielles, aujourd'hui employés dans l'aéronautique et le nucléaire. Un aspect important de ces langages est le comportement *déterministe* de leur interaction avec l'environnement, malgré l'*indéterminisme* de ce dernier[3]. Dans la littérature en informatique, la performance de ces langages est souvent comparée métaphoriquement à celle d'un ensemble de musique : les musiciens sont remplacés par des modules informatiques, et la partition devient un programme, avec un résultat d'ensemble déterministe attendu lors de la performance en temps réel.

2. Halbwachs, 1993.

3. Benveniste *et al.*, 2003.

Avec l'arrivée de l'informatique dans le contexte de la création artistique, la question du synchronisme entre la machine et l'humain se pose tant du point de vue pratique que du point de vue scientifique. Les réflexions menées par les artistes et chercheurs ont enrichi la compréhension de la cognition humaine ainsi que les avancées de l'informatique à ce sujet[4], et ont créé un champ de recherche à la confluence de différentes disciplines et pratiques en art et en science. Pour mieux comprendre ces interactions, nous regarderons le contexte musical et historique qui encadre la musique mixte depuis ses débuts.

4. Cont, 2011.

Contexte musical, musique mixte[5]

L'association des instruments acoustiques avec une partie électronique (dans toutes ses formes) fait intervenir les considérations de synchronisme entre les deux parties tant de point de vue compositionnel que de celui de l'interprétation. Le mélange de deux médias d'instruments acoustiques et

5. Pour plus de détails et un débat sur le positionnement de la musique mixte, les lecteurs sont invités à consulter la thèse de Vincent Tiffon (1994).

électroniques a posé des problèmes liés au synchronisme dès le début du genre mixte et a suscité des réactions et des solutions variées. Ce synchronisme relève de deux points : la confrontation des deux univers sonores lors de l'écriture, et la juxtaposition temporelle de deux médias lors de la performance. Souvent, l'absence d'interaction entre l'acoustique et l'électronique est une véritable épreuve pour l'interprète, à un point tel que certains compositeurs refusent de s'attaquer au genre, même lorsque les technologies engagées sont rudimentaires et peu complexes.

Cependant, pour ceux qui ont osé aborder le sujet, l'aventure a donné naissance aux plus belles innovations artistiques et technologiques dans la deuxième moitié du XXe siècle.

Les débuts

Imaginary Landscapes No1 (1939) de John Cage est probablement la première œuvre musicale où un média d'enregistrement est utilisé dans la composition, jouant sur la confrontation entre le temps réel des instruments et le temps différé du support enregistré. La première œuvre mixte du Groupe de recherche de musique concrète (GRMC) date de 1951 avec *Orphée51*, un opéra de musique concrète pour contralto, soprano, ténor, récitant-mime et bande, composé par Pierre Henry et Pierre Schaeffer. Cette pièce, malgré la tendance de l'époque du GRMC, ne propose ni une esthétique de l'échantillon ni un collage typique de la musique concrète, mais plutôt une orientation visuelle. Dans les deux cas du GRMC et de Cage, le rapport entre les deux médias est loin d'un rapport dialectique.

La première véritable œuvre mixte est souvent attribuée au compositeur Bruno Maderna pour *Musica su due dimensioni* (1951) pour flûte, percussion et bande, en collaboration avec Meyer-Eppler à l'Université de Bonn pour la réalisation de la partie électronique. Cette pièce de Maderna est probablement la première où l'objet est véritablement un discours de « musique de chambre » entre un instrument et une bande magnétique, ouvrant la voie à l'étude d'un rapport dialectique entre les deux médias[6]. Cependant, Maderna évite soigneusement et expressément le problème du synchronisme en donnant à la flûte des parties solistes, ainsi qu'en permettant à l'opérateur du magnétophone d'arrêter ou de relancer le défilement de la bande à des instants bien définis[7].

Les schémas organisationnels typiques de l'œuvre mixte au sens strict ont pour la plupart été énoncés par Karlheinz Stockhausen dans *Kontakte* (1959-1960) pour piano, percussion et bande, ainsi que dans *Mixtur* (1964) pour orchestre, générateur d'ondes sinusoïdales et modulateur en anneau. *Mixtur*

6. Griffiths, 1980.

7. Tiffon, 1994.

représente le début des œuvres manipulées en direct. Les transformations sont réalisées en temps réel et synchronisées avec le son de l'orchestre, en suivant les indications de la partition pour les actions à poser.

Le problème souvent rencontré lors de la performance des œuvres mixtes est celui du synchronisme entre les deux médias ou de la juxtaposition temporelle entre les temps hétérogènes engendrés par chaque média. L'absence d'interaction entre les deux parties est une véritable épreuve pour l'interprète. Pour contourner ce problème, certains compositeurs ont intégré la notion de *gestes communs* entre les deux médias pour aider la synchronisation lors de la performance. Ainsi, dans *Kontakte*, Stockhausen procède fréquemment par enchaînement des moments musicaux. Il s'agit dans ces cas de faire coïncider les deux univers dans les débuts et les fins de ces moments, qui agissent comme points de repère. L'autre solution est d'éviter le synchronisme : la partie électronique est fragmentée, l'opérateur à la console de mixage ou à l'ordinateur a la responsabilité des départs et des arrêts des fragments ; un geste que certains qualifient d'instrumental[8]. Ceci est la solution adoptée dans *Musica su due dimensioni* de Maderna ainsi que le cycle *Synchronisms* de Mario Davidovsky. L'autre solution pour éviter cette fragmentation est celle du « click-track », telle que proposée par Randall dans *Lyric Variations for Violin and Computer*[9]. Depuis, et jusqu'à aujourd'hui, l'utilisation du click-track est répandue dans la majorité des musiques mixtes.

8. Tiffon, 1994.

9. Randall, 1965.

Malgré la richesse et le renouveau des matériaux sonores proposés par le genre mixte, la difficulté de synchronisation crée une impasse musicale chez certains. En effet, les critiques se sont faits nombreux, certains allant jusqu'au refus du genre ou faisant appel à l'innovation à cet égard : « Souvenons-nous des premières œuvres, dites mixtes, et des contraintes, presque dépassées aujourd'hui, qu'imposait un prétendu dialogue entre l'univers électronique et l'univers instrumental. […] La partition jouée par les instrumentistes restait donc comme bridée, totalement subordonnée à la synchronisation avec la bande »[10].

10. Bayle, 1992 ; cité *in* Tiffon, 1994, p. 198.

Malgré les critiques, une période particulièrement innovatrice de l'informatique musicale est apparue, à la fois artistique et scientifique, avec l'invention des premières stations de calcul audio en temps réel à l'Ircam, les environnements interactifs, ainsi que l'arrivée de l'école de composition en temps réel.

École de composition en temps réel et le suivi de partition

Les inventions technologiques de l'Ircam dans les années 1980 ont laissé une trace remarquable dans l'histoire de la musique mixte. D'une part avec

l'invention des premières stations de calcul du son en temps réel (le 4x), permettant une manipulation directe des sons par un ordinateur et leur contrôle par une écriture informatique, et d'autre part des avancées technologiques pour l'interaction et la reconnaissance en temps réel des matériaux musicaux et des gestes provenant directement des musiciens. Parmi ces avancées technologiques, l'invention du suiveur de partition par Barry Vercoe (1984) et Roger Dannenberg (1984) a réanimé le désir d'aborder à nouveau le manque de synchronisme qui hantait alors la pratique de la musique mixte. Dans ce schéma, l'ordinateur est doté de la partition de l'instrumentiste, il l'*écoute* en temps réel (par un processus d'écoute artificielle), et sera capable de synchroniser ses actions avec les musiciens. Les premières applications pour le suivi de partition visaient l'accompagnement automatique, mais il a fallu attendre un peu pour que le concept s'intègre à la pratique de composition de la musique mixte.

Les possibilités offertes par les stations de calcul en temps réel à l'Ircam ont donné naissance à plusieurs œuvres dans des styles très différents employant le temps réel. Parmi les compositeurs intégrant ces technologies dans leurs œuvres, le premier à avoir exploré de manière systématique les possibilités du temps réel est sans doute Philippe Manoury, à qui l'on doit le développement d'une véritable pensée du temps réel. Il a en effet tenté une sorte de « déduction » de la notion de temps réel à partir d'une analyse de la notation musicale, dans ses rapports avec l'interprétation. L'une des « facultés » de la notation musicale, écrit-il, est « sa virtualité ». En référence à la notation musicale occidentale, il qualifie certains éléments comme étant « absolus » (comme la hauteur de la note) et d'autres comme « relatifs ». Cette deuxième catégorie est laissée à la discrétion de l'interprète jusqu'à certaines limites (le tempo ou les dynamiques dans la musique baroque par exemple). C'est en ce sens que toute partition *destinée à un interprète* est dite « virtuelle » : elle ouvre des champs de possibles, sans les déterminer complètement. Et c'est dans ce sens-là qu'il a développé la notion de *partition virtuelle* pour l'ordinateur : des programmes réactifs « composés » par l'artiste avec une sortie musicalement déterministe, mais déterminées en fonction du jeu de l'instrumentiste et en temps réel[11].

11. Manoury, 1990.

Dans ce contexte, la partie électronique de l'œuvre hérite de la richesse de l'écriture instrumentale, et sa réalisation ne se limite plus à une écoute simple. Il s'agit donc de tenir compte, dans la fabrique même des processus sonores, des valeurs « relatives » saisies en interaction avec les musiciens vivants.

Cette pensée du temps réel développée par Manoury a également défini une pratique de composition pour la musique mixte qui a fortement influencé les logiciels développés depuis, ainsi que la pratique des compositeurs. *Jupiter* (1987) de Manoury pour flûte et électronique en temps réel est la première œuvre utilisant le temps réel et marque également la naissance du logiciel *Max / MSP* développé par Miller Puckette, en collaboration avec le compositeur[12]. La pratique consiste à fusionner la partition instrumentale avec celle de l'électronique, où l'électronique sous forme d'une partition virtuelle dépend de la position ainsi que des paramètres d'analyse du jeu du musicien en temps réel. La partition électronique à ce stade est représentée comme des *points de synchronisation*, où chaque point correspond à un programme d'électronique qui dépend de la position et du jeu de l'instrumentiste.

12. Il est intéressant de noter que Manoury a été l'auteur du premier manuel d'utilisateur pour le logiciel Max / MSP.

La réponse des utilisateurs du temps réel aux problèmes du synchronisme en musique mixte est l'intégration des suiveurs de partition aux œuvres. La question de synchronisme est ainsi abordée tant par l'interprétation que par la composition. Le suiveur de partition est un logiciel qui fait le lien entre l'instrumentiste (sa partition) et la partie électronique (partition virtuelle). Le module est aussi responsable de lier le monde du signal (audio) à celui des symboles (partition) en temps réel pour préparer l'interprétation de la partition virtuelle synchronisée avec celle du musicien.

De nombreux compositeurs ont entièrement ou partiellement adopté cette pratique du temps réel pour la musique mixte, et même pour les dispositifs entièrement en « temps différé » où le schéma de travail reste inchangé mais l'électronique reste fixé. Cette pratique a très fortement influencé le monde scientifique de l'informatique musicale pour aborder l'interaction en temps réel demandée par la partition virtuelle.

Les critiques du temps réel

Comme toute grande tendance dominante, cette pratique du temps réel n'est pas restée longtemps à l'abri de la critique. Parmi les critiques les plus intéressantes, notons celles des compositeurs Jean-Claude Risset et Marco Stroppa. Risset remet en question la durabilité des œuvres de répertoire en s'appuyant sur des technologies critiques. Il soutient également que l'approche s'intéresse plus à la performance qu'à la composition[13]. La première remarque de Risset soulève un problème esthétique et technique, et la deuxième souligne la pauvreté de l'expression musicale avec les outils temps réel existants.

13. Risset, 1999.

Stroppa, dans sa critique exhaustive de l'interaction, déplore le manque d'un réel *interprète virtuel* dans la conception présentée à l'Ircam. En effet,

Stroppa pose la question pertinente de la juxtaposition temporelle des deux médias au cours de l'interprétation, qu'elle soit en temps réel ou pas, et remet en question la valeur musicale ajoutée en comparaison des pièces mixtes existantes. Dans son article, Stroppa remarque également la pauvreté des expressions musicales fournies par les outils de temps réel, que ce soit pour l'écriture du temps musical ou pour l'interaction en considérant l'aspect hétérogène de l'écriture du temps[14].

14. Stroppa, 1999.

La majorité des œuvres mixtes composées au cours de cette période ont rencontré les mêmes problématiques que les pièces mixtes classiques : la difficulté de la confrontation des deux médias lors de l'écriture, et la synchronisation lors de la performance. Les compositeurs montrent une réticence à l'intégration du suivi de partition dans les œuvres, d'une part à cause d'une pauvreté de l'écriture instrumentale proposée par les outils, et d'autre part à cause du manque de fiabilité de la technologie. Effectivement, Manoury et Boulez, qui ont marqué le plus les œuvres en temps réel des années 1980 et 1990, ont aussi rencontré ces problèmes, mais ils ont préféré les confronter et les expliciter.

Cette situation a également engendré la division de plus en plus apparente entre les aspects *compositionnel* et *performatif* de l'informatique musicale[15], ainsi que la division idéologique entre le *temps réel* et le *temps différé*. Des problèmes et divisions qui sont remarqués également par le fondateur du genre dans un bilan récent :

15. Puckette, 2004.

> Faut-il le préciser, la musique de synthèse n'a de sens que là où s'arrêtent les possibilités de la musique instrumentale. Le monde sonore qu'elle porte en elle n'a pas les mêmes fondements, le même statut historique ni les mêmes attributs expressifs. […]
>
> Si l'on veut affiner ce rapprochement, il me semble que l'attitude mimétique que l'on a constatée au niveau des qualités morphologiques des sons doit être conservée lorsqu'on se penche sur les structures de fonctionnement et les modes de composition. La partition et son interprétation nous fournissent un excellent modèle de ces structures. Les ordinateurs, quant à eux, deviennent des instruments à part entière, à la différence près qu'ils ne sont pas uniquement manipulables par des gestes, ou par des informations extérieures, mais peuvent se comporter comme des automates. Ils peuvent, ou non, être « sensibles » au monde extérieur. Sur l'immense chaîne des circuits qui se partagent son activité, on peut poser des « verrous » qui permettent ou interdisent l'accès du monde extérieur. C'est au compositeur de décider de la marge de liberté et d'interactivité qui doit être introduite. De ce fait, les catégories du temps réel et du temps différé n'existent pour ainsi dire plus. La totale liberté des improvisations et la rigidité fixe de la musique entièrement calculée – reproduisant la bande magnétique – sont les extrêmes de cette situation. Dans les premières, tout est déverrouillé, dans les secondes, tout est cadenassé. Le compositeur, quant à lui, peut organiser son monde de contraintes et de libertés. C'est ainsi qu'il l'a toujours fait.[16]

16. Manoury, 2007.

Au-delà du suivi de partition : *un interprète virtuel*

Dans le schéma du *temps réel*, les modules de suivi de partition ont un rôle musical particulier, bien décrit par Manoury dans ses considérations récentes sur le temps réel :

> Pour obtenir une véritable continuité dans la communication entre instruments et électronique, et faire en sorte que la réaction de cette dernière soit non seulement instantanée, mais aussi suffisamment riche pour s'adapter aux différentes situations et se modifier dans le temps d'une œuvre, il existe un outil fondamental. L'artisan majeur d'une réussite en la matière est, sans aucun doute, le suiveur de partitions.[17]

17. Manoury 2007.

Le suiveur de partition est donc responsable de l'*interprétation synchrone* de la partie électronique avec les instrumentistes, et ceux-ci sont capables de limiter ou d'enrichir l'expressivité de l'écriture de la partie électronique et de confronter les deux médias vivant et électroacoustique. Malgré cette clarté musicale, les suiveurs de partition jusqu'à récemment ont pris part à une aventure plutôt scientifique, en se concentrant sur la reconnaissance en temps réel des événements musicaux provenant des musiciens, et en renvoyant (et par conséquence, en sous-estimant) la problématique plus importante du synchronisme et de l'écriture aux compositeurs et aux musiciens (Cont, 2011).

Le projet *Antescofo*[18] a comme but de réinjecter ces valeurs musicales dans ces technologies. Le projet a démarré en 2007 à l'Ircam, autour de la création d'une œuvre de Marco Stroppa pour saxophone et « électronique de chambre »[19]. Le but étant d'étudier et de relever les lacunes à la fois performatives et compositionnelles autour des paradigmes existants de suivi de partition, et cela autour d'un compositeur connu comme un des critiques les plus structurés du *temps réel*. Il est devenu évident dès le départ que le problème du synchronisme est autant lié à l'extraction des paramètres musicaux provenant des musiciens en temps réel qu'à l'écriture. Ce deuxième point (forte considération pour l'écriture musicale) et son couplage avec le premier est ce qui distingue *Antescofo* du précédent module de suivi de partition.

18. repmus.ircam.fr/antescofo (Cont, 2008)

19. … *of Silence* pour saxophone et électronique de chambre (2007), de Marco Stroppa.

Antescofo, comme machine d'écoute anticipative

Le synchronisme musical entre deux ou plusieurs musiciens résulte autant d'une reconnaissance fiable du temps réel que d'un processus cognitif. Le synchronisme parfait chez les musiciens n'est donc pas le résultat d'un système parfait, mais de la collaboration de plusieurs systèmes souvent faillibles. Parmi les processus cognitifs impliqués dans la synchronisation musicale, le phénomène de l'anticipation musicale joue un rôle très important. En effet,

pour pouvoir jouer ensemble, les musiciens, en plus d'une écoute élaborée, anticipent le jeu de leurs collègues pour s'y synchroniser. Cette anticipation concerne autant la temporalité du jeu que les dynamiques de l'interprétation. Ceci implique qu'un système d'écoute musicale interactive doit non seulement permettre la reconnaissance en temps réel, mais également être doté d'une capacité d'anticipation.

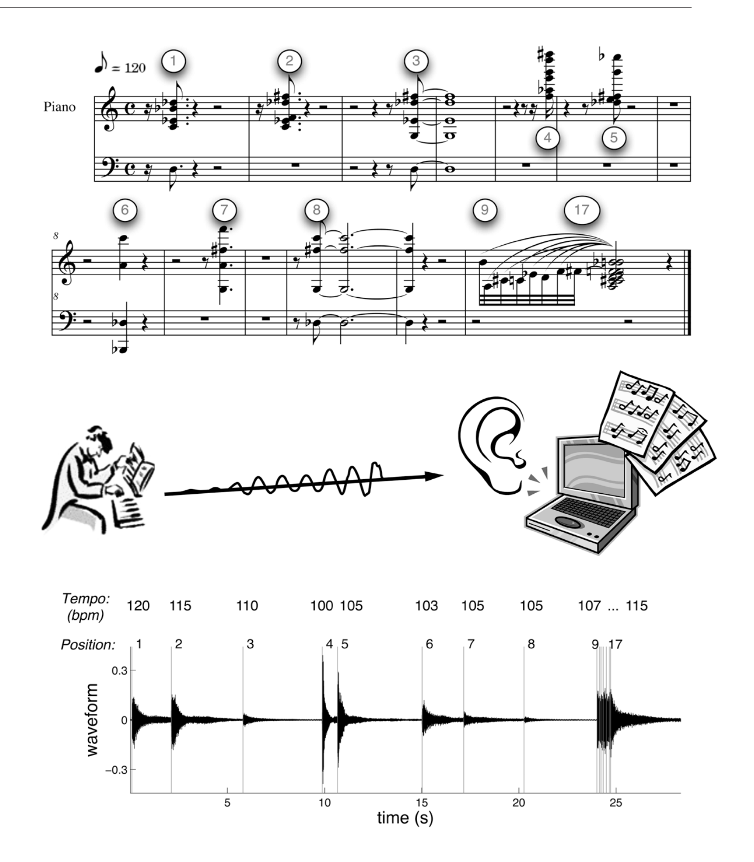
La première tâche d'une machine d'écoute est la reconnaissance en temps réel. Dans le cas d'une interaction via une partition musicale, il s'agit de reconnaître la position du jeu en temps réel dans une partition ainsi que d'extraire en temps réel les paramètres musicaux nécessaires à l'interprétation musicale. La figure suivante présente ce schéma simplifié dans le cas d'une partition pour piano et en montrant le rôle d'un suiveur de partition pour lier l'information symbolique, contenue dans un flux audio, à la représentation du signal. *Antescofo* est doté d'un système de reconnaissance probabiliste capable de détecter des événements d'une partition ainsi que certains paramètres musicaux comme le tempo en temps réel.

L'écriture musicale est une organisation des matériaux sonores dans le temps. À cet égard, nous ne pouvons pas parler du temps musical, mais bien des temps musicaux. Une partition de musique occidentale classique contient des événements de natures temporelles différentes et hétérogènes, ce qui rend souvent la tâche de reconnaissance complexe par rapport à d'autres données plus homogènes, comme l'ADN ou bien la parole. De plus, l'écriture musicale, à travers les siècles, a permis aux compositeurs d'écrire ces temps en valeurs relatives, donnant une liberté au musicien au moment de l'interprétation.

L'existence du temps hétérogène et souvent dynamique représente un défi majeur pour l'informatique musicale, à la fois pour son écriture et pour son exécution en temps réel. Ce sujet nous ramène à une modélisation hybride du temps, à la fois au moment de la composition (programmation) et à celui de la performance (exécution en temps réel et reconnaissance). Pour cela, *Antescofo* utilise un modèle hybride et explicite du temps spécifique à la musique, ce qui le distingue des autres domaines d'application comme la parole. Cette considération permet un accès explicite aux temps musicaux, que ce soit au moment de la composition ou à celui de la performance et, en particulier, pour le décodage du tempo réel du musicien sur scène.

Comme les êtres humains, la reconnaissance artificielle des événements provenant d'un environnement extérieur subit toutes sortes d'incertitudes : bruits de fond, erreur d'accordage, erreur humaine, défaut algorithmique,

FIGURE 1 Schéma de reconnaissance / écoute artificielle d'un suiveur de partition. Alignement d'un signal audio en temps réel sur une partition et extraction des paramètres d'interprétation (comme le tempo) en temps réel.



etc. En l'absence de cette certitude, comme chez les humains, il faut multiplier les sources d'information (faillibles) et compter sur la pluralité de ces sources pour assurer la précision de la performance. Dans les ressources disponibles, la capacité d'anticipation temporelle est d'une extrême d'importance. Pour aborder cet aspect, *Antescofo* est doté d'un système multi-agent qui gère en temps réel une horloge liée aux événements et une autre aux signaux continus. Les deux sont en collaboration et en compétition à tout moment. Le résultat final du décodage se fait donc en fonction de la certitude soit temporelle soit événementielle de chaque agent[20].

20. Cont, 2010.

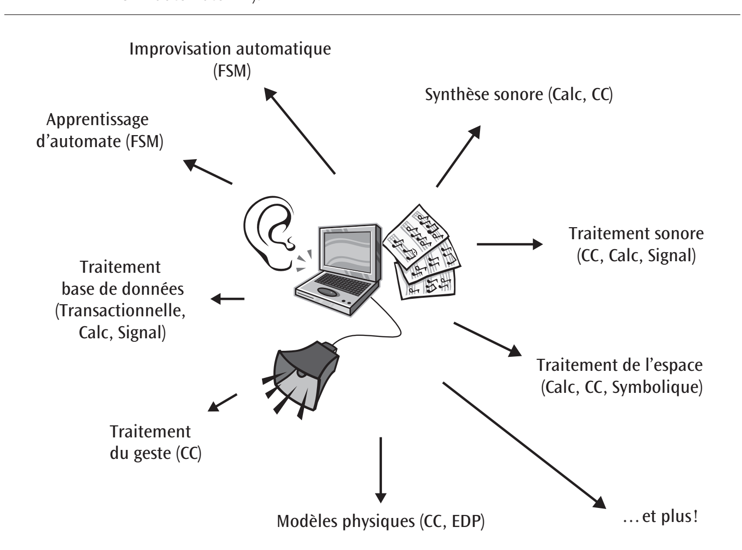
Antescofo, comme outil d'écriture

Une performance musicale entre plusieurs musiciens implique autant l'écoute que la capacité de coordination des actions musicales propre à une notation musicale. De la même manière, dans le contexte de la musique mixte, l'écoute sert à lancer des actions informatiques réactives et synchrones avec les musiciens sur scène. Pour cela, *Antescofo* est équipé d'un langage synchrone pour l'écriture du temps et pour l'interaction en informatique musicale. Le langage synchrone d'*Antescofo* a la responsabilité de lancer les programmes musicaux aux moments indiqués en réaction au jeu des musiciens, et de les synchroniser entre eux et avec les interprètes.

Les programmes en informatique musicale décrivent divers processus agissant sur le son en temps réel. Ils consistent en tous nos savoir-faire pour générer du son, le manipuler, l'analyser, le spatialiser, apprendre des automates ou bien décrire des trajectoires spatiales, entre autres. Ils ont des natures de calculs très variées et appellent des technologies spécifiques à chaque domaine. La figure suivante montre cette variété des programmes musicaux souvent utilisés pour la création musicale. Le facteur de variété déterminant dans toutes ces technologies est leur temporalité.

À part cette capacité de gestion de calcul hétérogène, un langage synchrone musical doit être capable d'organiser la temporalité de chaque

FIGURE 2 Paradigmes de calcul et temporalité hétérogène en informatique musicale (CC=Calcul continu, EDP=équations différentielles partielles, FSM=automate fini).

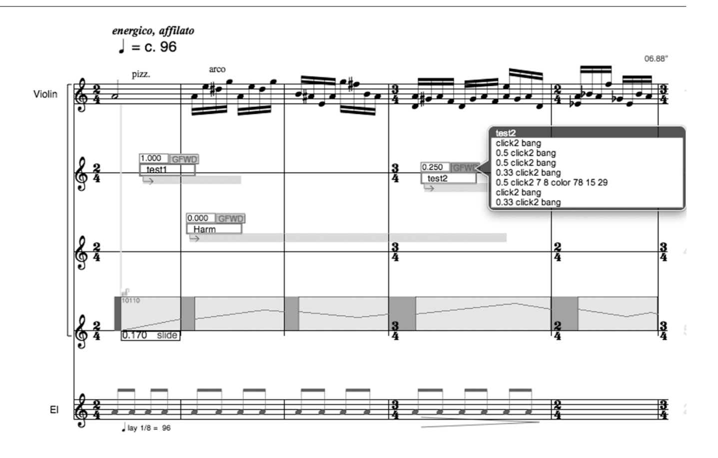


programme dans une partition globale et à l'image de l'écriture musicale pratiquée dans le monde instrumental. Dans ce monde, plusieurs notions d'écriture musicale et de théorie des langages convergent: la concurrence en informatique est analogue à l'écriture polyphonique, les boucles musicales deviennent des échantillons périodiques, la performance musicale comme l'acte d'évaluation d'un programme réactif, et l'acte même de composition comme la programmation. De plus, la logique de l'écriture musicale s'approche finement de la philosophie explicite des langages synchrones tels qu'*Esterel* et *Lustre* : des événements synchronisés se produisent dans un même laps de temps jusqu'à la limite de la perception, la performance d'une telle partition est en *temps réel* et *critique*, à l'image des systèmes critiques étudiés par ces langages[21].

21. Halbwachs, 1993.

Antescofo est donc doté d'un simple langage synchrone pour la coordination et l'organisation des matériaux musicaux dans le temps, avec l'idée d'intégrer la richesse d'un vocabulaire musical (qui aborde à la fois les problèmes d'expressivité et d'interaction) dans la machine. Ainsi, le compositeur écrit une seule partition contenant à la fois la partie instrumentale et la partie électronique, et en utilisant la même richesse temporelle hétérogène (temps absolu, temps relatif, temps rationnel, temps continu). La figure 4 montre un exemple d'une partition d'*Antescofo* avec divers modes d'écriture pour la partie électronique. C'est ensuite au logiciel d'assurer l'interprétation de cette partition en synchronisme avec les instrumentistes sur scène.

FIGURE 3 Extrait d'une partition d'*Antescofo* (visualisation dans le logiciel *Note AbilityPro*). La première portée étant la partie instrumentale, les autres portées étant les écritures des divers processus électroniques avec une temporalité hétérogène.



La querelle temps réel / temps différé, une illusion

Avec cette nouvelle pratique de synchronisation et d'écriture, la bagarre idéologique entre le temps réel et le temps différé semble périmée. En effet, même avec un dispositif électroacoustique fixe, la question de la juxtaposition temporelle lors de la performance persiste, car tout concert, par définition, a lieu en temps réel. Les sons préenregistrés et fixes peuvent ainsi (et par nécessité) être interprétés par un tel système et en fonction du jeu des instruments. Une belle illustration de ça est l'œuvre … *of Silence* (2007) de Marco Stroppa pour saxophone et électronique de chambre, où l'électronique fait appel à une coexistence de matériaux sonores pré-composés ainsi qu'au traitement en temps réel, les deux interprétés dans le même cadre et par *Antescofo*.

Antescofo, dans sa forme finale, réalise les programmes et les actions destinés à l'ordinateur en réaction à ce qu'il entend. Ce logiciel est donc destiné à la fois à la programmation (composition musicale) et à la réalisation en temps réel (performance musicale). Le logiciel a également répandu la pratique à un grand nombre d'artistes et de genres musicaux[22], ce qui avait été réservé à certains privilégiés dans le cadre des anciens suiveurs de partition.

22. Voir le répertoire: repmus.ircam.fr/antescofo/repertoire

Synchronisme du futur…

Avec le projet *Antescofo*, le sujet du synchronisme est devenu un programme de recherche à l'intersection des disciplines variées comme le traitement du signal, l'intelligence artificielle, les théories du langage, la vérification des systèmes en temps réel, ainsi que la pratique de l'écriture et de l'interprétation musicale. Cependant, les avancées techniques ont révélé bien plus de problématiques de recherche que les chercheurs ne l'avaient imaginé au départ[23]. Ce sont ces problématiques qui détermineront les futurs défis à relever.

23. Cont, 2011.

Écrire le temps et l'interaction

Il est aujourd'hui évident que le problème de synchronisme musical dans la musique mixte est extrêmement lié à l'écriture de la partie électronique afin de permettre à un *interprète virtuel* de confronter les deux médias. Malgré la pratique répandue de la musique en temps réel, nous ne sommes qu'au début des problématiques d'écriture soulevées. Le projet *Antescofo* a permis la réalisation de partitions de plus en plus complexes, à l'image des compositeurs porteurs des projets compositionnels (Cont, 2011), et a montré la nécessité d'enrichir l'expressivité de ce langage de coordination. En plus du langage, il y a une nécessité de plus en plus importante d'une *vérification* préalable de ces partitions complexes, à l'image d'un système critique et en temps réel, à

l'image d'un avion. En effet, en informatique, nous sommes encore très loin de la puissance d'abstraction sémantique évoquée par l'écriture musicale pour concevoir des grandes formes (à l'image d'une partition d'orchestre). Les langages informatiques ont encore beaucoup à apprendre de ce patrimoine de l'humanité qui est l'écriture dans toutes ses formes.

Synchronisme multimodal

Dans cet article, nous nous sommes concentré sur l'évolution du genre mixte en musique. Avec la démocratisation des outils et des connaissances en informatique musicale, le genre s'est répandu bien plus loin que ce qui est présenté dans ici. Désormais, des compositeurs comme Florence Baschet étudient la synchronisation avec d'autres médias comme le geste instrumental[24] et la question de la synchronisation se répand de l'audio et d'une partition symbolique vers le geste, la captation vidéo ou même les analyses spécifiques et perceptives des données audio en temps réel. Cette tendance naturelle est bien à l'image de la pratique musicale des instrumentistes, qui utilisent plusieurs médias perceptifs pour synchroniser leurs actions entre eux. Les concepts futurs de synchronisation pour l'informatique musicale doivent également tenir compte de cette richesse et de la pluralité des représentations, pour ainsi se rapprocher des moyens de synchronisation multimodale en lieu et place de la synchronisation unimodale pratiquée aujourd'hui.

Les avancées récentes dans le domaine de la synchronisation musicale ont permis d'aborder quelques difficultés pratiques du passé récent et aussi de formaliser beaucoup de problèmes à venir. La recherche scientifique et artistique sur le synchronisme musical est ainsi à un nouveau tournant, qui pourrait changer notre pratique future. Cela ne sera possible qu'avec une collaboration étroite de chercheurs scientifiques et d'artistes, pour des innovations dans les deux médias des arts et de la science.

Corrections linguistiques : Martine Rhéaume

24. Bevilacqua *et al.*, 2010.

BIBLIOGRAPHIE

Bayle, Laurent (1992), « Ne nous arrêtons donc pas en si bon chemin », *Recherche et création, vers de nouveaux territoires*, Paris, Ircam – Centre Georges Pompidou, p. 13-33.

Benveniste Albert, Caspi, Paul, Edwards, Stephan A., Halbwachs, Nicola, Le Guernic, Paul, de Simone, Robert (2003), « The Synchronous Languages 12 Years Later », *Proceedings of the IEEE*, vol. 91, nº 1, p. 64-83.

Bevilacqua Frédérique, Zamborlin, Bruno, Sypniewski Anthony, schnell, Norbert, Guédy, Fabrice, Rasamimanana Nicolas (2010), « Continuous realtime gesture following and recognition », *Gesture in Embodied Communication and Human-Computer Interaction,* LNCS, vol. 5934, p. 73-84.

Cont, Arshia (2008), « ANTESCOFO : Anticipatory Synchronization and Control of Interactive Parameters in Computer Music », *Proceedings of International Computer Music Conference*, disponible en ligne : quod.lib.umich.edu/cgi/p/pod/dod-idx?c=icmc;idno=bbp2372.2008.154

Cont, Arshia (2010), « A coupled duration-focused architecture for realtime music to score alignment », *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 32 (6), p. 974-987.

Cont, Arshia (2011), « On the creative use of score following and its impact on research », *in Proceedings of Sound and Music Computing (SMC) Conference*, Padova, disponible en ligne : smcnetwork.org/smc_papers-2011123

Dannenberg, Roger (1984) « An On-Line Algorithm for Real-Time Accompaniment », *in Proceedings of the International Computer Music Conference*, Paris, p. 193-198.

Griffiths, Paul (1981), *A Guide to Electronic Music*, Londres, Thames and Hudson.

Halbwachs, Nicolas (1993), *Synchronous Programming of Reactive Systems*, Amsterdam, Kluwer Academics.

Large, Edward W. et Jones, Mari Reiss (1999), « The dynamics of attending : How we track time-varying events », *Psychological Review*, vol. 106, p. 119-159.

Manoury, Philippe (1990), *La note et le son*, Paris, L'Harmattan.

Manoury, Philippe (2007), « Considérations (toujours actuelles) sur l'état de la musique en temps réel », *L'étincelle, le journal de la création à l'Ircam*, disponible en ligne : etincelle.ircam.fr/733.html.

Puckette, Miller (2004), « A divide between "compositional" and "performative" aspects of Pd », *First International Pd Convention*, Graz. Disponible en ligne : http://crca.ucsd.edu/~msp/Publications/graz-reprint.pdf

Repp, Bruno Hermann (2006), « Musical synchronization », *in* E. Altenmüller, M. Wiesendanger et J. Kesselring (dir.), *Music, motor control, and the brain*, Oxford, Oxford University Press, p. 55-76.

Risset, Jean-Claude (1999), « Composing in real-time? », *Contemporary Music Review*, 18(3), p. 31-39.

Stroppa, Marco (1999), « Live electronics or live music? Towards a critique of interaction », *Contemporary Music Review*, 18(3), p. 41-77.

Szendy, Peter (1998), « Musique, temps réel », *Résonance*, nº 14, octobre 1998. Disponible en-ligne : http://articles.ircam.fr/textes/Szendy98b/

Tiffon, Vincent (1994), « Recherches sur les musiques mixtes », thèse de doctorat, Université d'Aix-Marseille I.

Vercoe, Barry (1984), « The Synthetic Performer in the Context of Live Performance », *Proceedings of the International Computer Music Conference*, Paris, p. 199-200.